

Politechnika Wrocławska

Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów

KIERUNEK: Automatyka i Robotyka (AIR)
SPECJALNOŚĆ: Robotyka (ARR)

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

TYTUŁ PRACY:
Dalmierz ultradźwiękowy z mikrofonami
MEMS

AUTOR:
Krystian Mirek

PROMOTOR:
Dr inż. Bogdan Kreczmer,
Katedra Cybernetyki i Robotyki

Robert Muszyński, Roberto Orozco
Wrocław 2022



Szablon jest dostępny na licencji Creative Commons: *Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Polska*

Utwór udostępniany na licencji Creative Commons: uznanie autorstwa, na tych samych warunkach. Udziela się zezwolenia do kopiowania, rozpowszechniania i/lub modyfikacji treści utworu zgodnie z zasadami w/w licencji opublikowanej przez Creative Commons. Licencja wymaga podania oryginalnego autora utworu, a dystrybucja materiałów pochodnych może odbywać się tylko na tych samych warunkach (nie można zastrzec, w jakikolwiek sposób ograniczyć, ani rozszerzyć praw do nich). Tekst licencji jest dostępny pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.pl>. Podczas redakcji pracy dyplomowej notkę tę można usunąć, licencja dotyczy bowiem zredagowanego opisu, a nie samego latechowego szablonu. Szablon można wykorzystywać bez wzmiankowania o jego autorze.

Spis treści

1	Wstęp	4
1.1	Zasada działania	4
1.2	Zastosowanie	4
1.3	Komercyjne rozwiązania	4
2	Cel i założenia	5
3	Przegląd czujników ultradźwiękowych	6
4	Analiza problemu	7
4.1	Plan urządzenia	7
4.2	Rozmieszczenie elementów nadawczych i odbiorczych	7
4.3	Komunikacja	8
4.4	Przetwarzanie danych	8
5	Specyfikacja realizacji sonaru ultradźwiękowego	9
6	Projekt konstrukcji sonaru oraz protokoły komunikacji	10
6.1	Komunikacja	10
6.1.1	Wybór protokołu	10
6.1.2	Komputer → sonar	10
6.1.3	Sonar → komputer	10
6.2	Elektronika	11
6.2.1	Zasilanie	11
6.2.2	Nadajnik	11
6.2.3	Wzmacniacz nadajnika	12
6.2.4	Filtry sygnału audio	13
6.2.5	Symulacja części odbiorczej	13
6.2.6	Progowanie sygnału	13
7	Realizacja sonaru ultradźwiękowego	15
8	Testy i eksperymenty	16
8.1	Test przetwornika piezoelektrycznego	16
8.2	Test wpływu odległości na sygnał	16
8.3	Pierwsze uruchomienie	16
8.4	Uruchomienie i test wzmacniacza sygnału przetwornika piezoelektrycznego	17
8.5	Test mikrofonów i filtrów	17
9	Podsumowanie i wnioski	18
	Literatura	19

Spis treści	3
Spis rysunków	20
A Schematy i noty katalogowe	21

Rozdział 1

Wstęp

Celem rozdziału jest zaprezentowanie podstawowych informacji dotyczących dalmierzy ultradźwiękowych, zasady działania i ich zastosowania w przemyśle, nauce oraz życiu codziennym. Ma on również za zadanie przybliżyć rozwinięcia skrótów powszechnie używanych w tej dziedzinie.

1.1 Zasada działania

1.2 Zastosowanie

1.3 Komercyjne rozwiązania

Rozdział 2

Cel i założenia

Popularne dalmierze ultradźwiękowe wykorzystują przetworniki piezoelektryczne jako nadajniki i odbiorniki. Ich średnice wahają się w granicach od 10mm do 20mm. W przypadku prostych dalmierzy, gdy wyznaczana jest tylko odległość do obiektu, ich rozmiar nie jest krytyczny. Jednak w konstrukcjach sonarów ultradźwiękowych, które mają wyznaczyć również kierunek przylotu sygnału, rozmiar ten jest istotny. Jeżeli kierunek przylotu jest wyznaczany w oparciu o przesunięcie fazy odbieranego sygnału, wzajemna odległość odbiorników nie powinna przekraczać pół długości fali emitowanego sygnału. Wykorzystywane powszechnie przetworniki ultradźwiękowe pracują z częstotliwością 40kHz. Pół długości fali akustycznej w powietrzu dla tej częstotliwości to ok. 4,3mm. Drugim warunkiem stosowalności tego podejścia jest to, aby odbiorniki sygnału można było modelować jako punkty materialne. Od strony technicznej oznacza to, że apertury tych odbiorników powinny być możliwe małe w stosunku do długości fali. Kryteriów tych nie spełniają popularne odbiorniki piezoelektryczne.

Celem niniejszej pracy jest konstrukcja sonaru pozwalającego wyznaczyć odległość do miejsca odbicia sygnału oraz kierunku nadejścia sygnału. Pozwalać ma to tym samym na precyzyjną lokalizację obiektu. Zakłada się, że źródłem sygnału będzie przetwornik piezoelektryczny pracujący z częstotliwością 40kHz. Wyznaczanie kierunku przylotu ma zostać zrealizowane w oparciu o przesunięcie fazy odbieranego sygnału. Chcąc spełnić opisane powyżej warunki, jako odbiorniki zostaną zastosowane 3 mikrofony analogowe produkowane w technologii MEMS. Sonar powinien udostępniać komunikację poprzez interfejs USB. Dostępna powinna być też możliwość konfiguracji jego pracy, tzn. ilość pobudzeń generujących emitowany sygnał oraz czas opóźnienia przejścia w tryb odbioru. W ramach niniejsze pracy należy też zrealizować podstawowe oprogramowanie dla komputera typu PC, które pozwoli sterować sonarem, wykonać niezbędne pomiary oraz obliczenia. Dysponując tym oprogramowaniem należy przeprowadzić serię eksperymentów, które pozwolą zbadać i zweryfikować podstawowe własności sonaru. Ponadto oprogramowanie mikrokontrolera należy zdokumentować w systemie doxygen.

przere
redagow
w konsultacji
z promoto-
rem

Rozdział 3

Przegląd czujników ultradźwiękowych

Proszę opisać kilka wybranych, możliwie reprezentatywnych dalmierzy ultradźwiękowych.

przetworniki

gotowe dalmierze

Rozdział 4

Analiza problemu

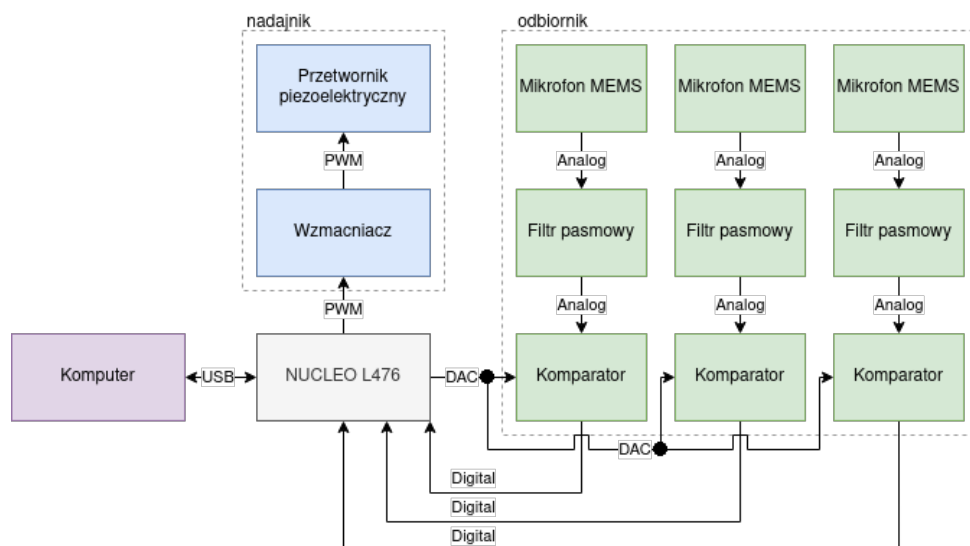
4.1 Plan urządzenia

Założenia konstrukcyjne to przede wszystkim prostota budowy, modularność i skrócenie czasu realizacji. Płytką deweloperską wysyła określoną przez użytkownika liczbę przebiegów sygnału PWM *, następnie sygnał jest ten wzmacniany do poziomu aż 80 woltów by uzyskać maksymalną wydajność i trafia na przetwornik piezoelektryczny który generuje falę ultradźwiękową. Fala ta po odbiciu się od obiektu w polu wykrywania sonaru trafia z powrotem do urządzenia a konkretniej do mikrofonów MEMS umieszczonych na czole obudowy. Sygnał z mikrofonów jest filtrowany by przepuścić tylko porządane przez nas częstotliwości bliskie częstotliwości nadajnika, oraz wzmacniany w celu lepszej interpretacji przez dalsze układy. Po przefiltrowaniu, sygnał jest progowany. Mikrokontroler za pomocą przetwornika DAC ustala poziom napięcia, który wyznaczy granicę pomiędzy wysokim a niskim stanem logicznym. To rozróżnienie jest nam potrzebne do pobudzenia cyfrowego wejścia licznika, zmienność tej wartości pozwala nam również na reagowanie tylko na sygnał o odpowiedniej amplitudzie by móc z powrotem obniżyć próg do miejsca przecięcia się sinusoidy z napięciem odniesienia, gdzie dokładność pomiaru jest największa. Mikroprocesor dzięki wspomnianym wcześniej licznikom odmierza czas między zboczami rosnącymi zprogowanego już sygnału. Wszystkie pomiary czasów przecięć z trzech odbiorników są wysyłane we wspólnej ramce danych do komputera gdzie za pomocą różnic w tych czasach wyznaczony zostanie dystans obiektu oraz jego odchylenie względem sonaru.

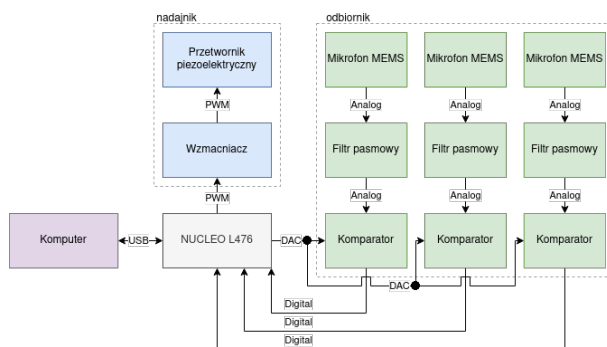
4.2 Rozmieszczenie elementów nadawczych i odbiorczych

Rozmieszczenie odbiorników jest kluczowym elementem pomiaru, to dzięki znajomości odległości mikrofonów i różnic w czasach dotarcia sygnału jesteśmy w stanie określić kąt pod którym fala dźwiękowa trafia do urządzenia. Do uzyskania pełnego zakresu

*Pulse Width Modulation ang. Modulacja Szerokości Impulsów



Rysunek 4.1 Schemat blokowy urządzenia



Rysunek 4.2 Schemat blokowy urządzenia

4.3 Komunikacja

4.4 Przetwarzanie danych

Rozdział 5

Specyfikacja realizacji sonaru ultradźwiękowego

W tej części trzeba podać jakie będą udostępniane funkcjonalności, jak mają być realizowane pomiary, jakie polecenia będzie można przysyłać do urządzenia, przewidywane parametry, np. częstość powtórzeń pomiarów, zakres zmiany ilości sygnałów pobudzenia, zakres zmian wypełnienia impulsów itp.

Rozdział 6

Projekt konstrukcji sonaru oraz protokoły komunikacji

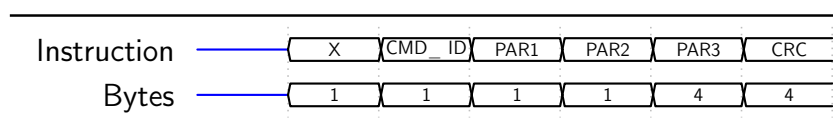
6.1 Komunikacja

6.1.1 Wybór protokołu

Wybrany został protokół UART, ze względu na to, że płytki deweloperska STM32 NUCLEO-L476RG z której skorzystano w projekcie posiada wbudowany konwerter UART→USB, co pozwala na skomunikowanie mikrokontrolera z komputerem bez dodatkowego sprzętu.

6.1.2 Komputer → sonar

Użytkownik systemu może wysłać z komputera instrukcję do wywołania całej sekwencji działania urządzenia. Ramka danych zaczyna się znakiem specjalnym ułatwiającym rozpoznanie wiadomości, następnie musi zostać podany numer komendy informujący sonar jaką czynność powinien wykonać, parametry określające warunki tej czynności, a na koniec suma kontrolna wiadomości.



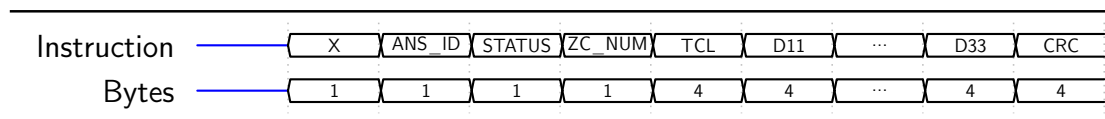
Rysunek 6.1 Ramka danych przychodzących

6.1.3 Sonar → komputer

Sonar w odpowiedzi na instrukcję wysyła ramkę danych która również zaczyna się znakiem specjalnym, następnie podawany jest numer komendy na którą sonar odpowiada, status wykonania, dane pomiarowe oraz suma kontrolna.

zrobić ładniejszą ramkę

zrobić ładniejszą ramkę



Rysunek 6.2 Ramka danych wychodzących

6.2 Elektronika

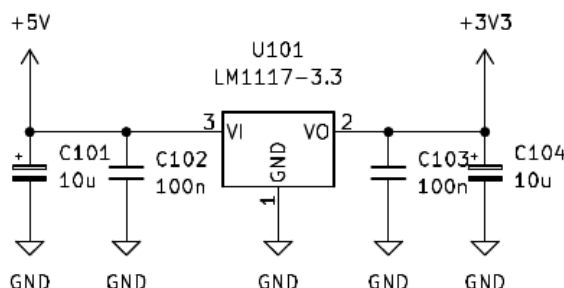
Projekt bazuje na autorskiej płytce z obwodem drukowanym, który został zaprojektowany przy pomocy otwartoźródłowego narzędzia do projektowania elektroniki „KiCad” [KiC]. Całe urządzenie składa się z płytki deweloperskiej oraz zaprojektowanego na cele pracy dyplomowej PCB*, które jest podłączone do Nucleo w formie „shieldu” poprzez listwy kołkowe. Całą elektronikę można podzielić na kilka bloków, które spełniają określone funkcje, jest to między innymi sekcja zasilania, część nadawcza, część odbiorcza, zestaw filtrów sygnału przychodzącego oraz komparatory progujące sygnał.

pokazać
jak wygląda
shield

wstawić dia-
gram funk-
cjonalny

6.2.1 Zasilanie

Całe urządzenie zasilane jest z portu USB komputera, które jednocześnie służy do komunikacji. Przewód jest podłączony bezpośrednio do płytki deweloperskiej Nucleo, gdyż posiada ona już wbudowane złącze. Mimo, że płytka deweloperska posiada wyprowadzenia zarówno 5V jak i 3.3V, które potrzebowałem, postanowiłem zaimplementować układ stabilizacji w celu lepszej izolacji zasilania układów analogowych od cyfrowych co powinno przełożyć się na mniejsze zakłócenia.



Rysunek 6.3 Stabilizator napięcia

6.2.2 Nadajnik

Rolę nadajnika pełni przetwornik piezoelektryczny o średnicy 16mm i częstotliwości rezonansowej 40 kHz, która to jest poza spektrum słyszalnych częstotliwości.

*Printed Circuit Board ang. Płytką obwodu drukowanego



Rysunek 6.4 Nadajnik piezoelektryczny

6.2.3 Wzmacniacz nadajnika

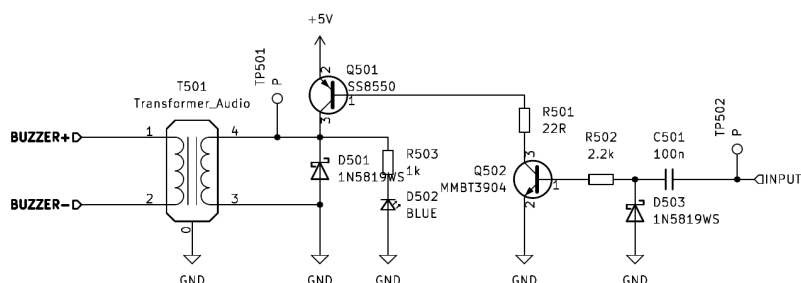
W celu uzyskania mocnego sygnału ultradźwiękowego z przetwornika piezoelektrycznego zaprojektowano układ wzmacniający z transformatorem. Sygnał nadający częstotliwość wysyłany jest z mikroprocesora, następnie jest wzmacniany parą tranzystorów, razem tworzących układ Darlingtona, który zapewnia duże wzmocnienie prądowe sygnału i zachowuje krótkie czasy przełączania charakterystyczne dla tranzystorów bipolarnych.

Transformator w tym układzie służy do podniesienia napięcia które trafia na przetwornik, docelowo jest to nawet szczytowo 80 Voltów co sprawia, że sygnał jest bardzo mocny.

Układ posiada również zabezpieczenie przed zbyt długim czasem otwarcia tranzystora, sygnał jest przepuszczany przez kondensator, co sprawia, że tylko szybkozmienne przebiegi są w stanie dotrzeć na bazę klucza. Zbyt długa ekspozycja transformatora na przepływ prądu mogłaby go narazić na przegrzanie.

Ze względu na indukcyjny charakter uzwojeń transformatora podczas szybkiej zmiany generowanego pola magnetycznego następuje konwersja tej energii do postaci prądu zwrotnego wyindukowanego na tej cewce, aby uchronić się przed niepożądanym działaniem tego zjawiska, równolegle z uzwojeniem pierwotnym sprzężona jest dioda Schottkiego, która pozwala zniwelować ten prąd.

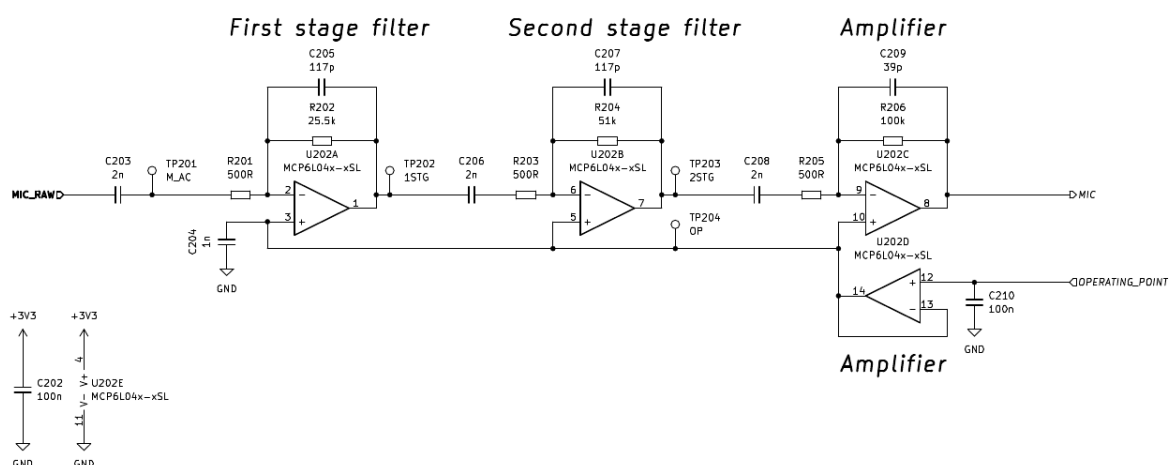
Dodatkowo jako element ułatwiający pracę nad urządzeniem, dodany został LED, który emituje światło w trakcie przepływu prądu przez transformator.



Rysunek 6.5 Wzmacniacz sygnału nadajnika piezoelektrycznego

6.2.4 Filtry sygnału audio

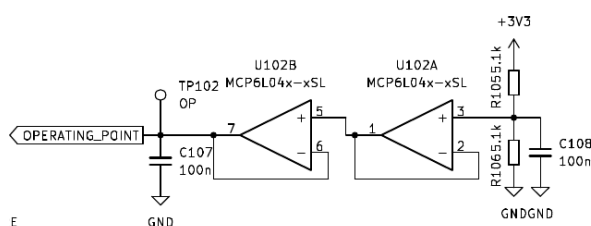
Rolę odbiorników będą pełnić trzy dookólne mikrofony MEMS, które cechują się względnie liniową charakterystyką przenoszenia pasma. Dlatego też konieczne będzie zastosowanie dla każdego z nich zestawu filtrów pasmowych, które przepuszczą nam tylko i wyłącznie częstotliwości bliskie częstotliwości sygnału jaki generuje przetwornik piezoelektryczny, a zablokują wszystkie nieporządane. Pojedynczy stopień filtra, dawałby na wyjściu zbyt niski zakres poziomu napięć, z tego powodu sygnał przechodzi przez 3 stopnie wzmacniaczy operacyjnych. Takie rozwiązanie zarówno filtruje sygnał i wzmacnia go.



Rysunek 6.6 Zestaw filtrów dla sygnału z mikrofonów

Zazwyczaj układy analogowe oparte o wzmacniacze operacyjne zasilane są napięciem symetrycznym a sygnał przemienny oscyluje wokół masy. W tym projekcie

opisać ob-
szernie wy-
bór wzmac-
niaczy ope-
racyjnych



Rysunek 6.7 Wzmacniacz prądowy napięcia odniesienia

6.2.5 Symulacja części odbiorczej

6.2.6 Progowanie sygnału



screen z symulacji



progowanie sygnału

Rozdział 7

Realizacja sonaru ultradźwiękowego

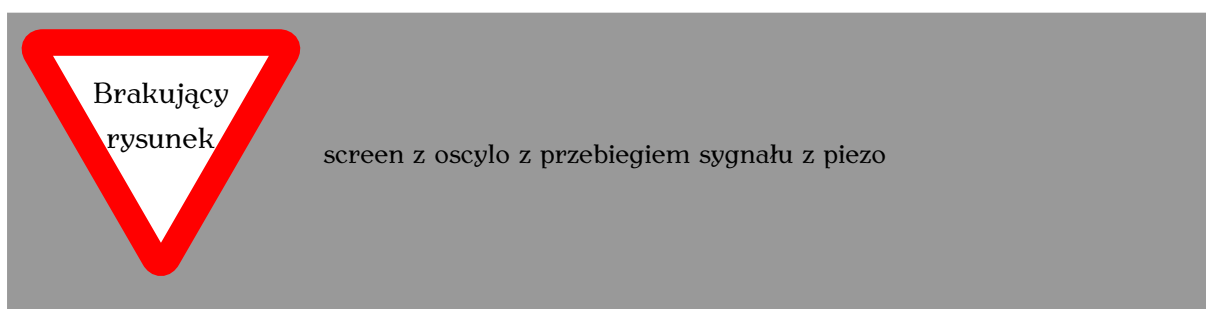
Opis wykonanego urządzenia, zdjęcia. Przykłady realizacji komunikacji z urządzeniem.

Rozdział 8

Testy i eksperymenty

Opis zrealizowanych eksperymentów, które demonstrują najważniejsze cechy urządzenia i czujnika.

8.1 Test przetwornika piezoelektrycznego



Rysunek 8.1 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym

8.2 Test wpływu odległości na sygnał

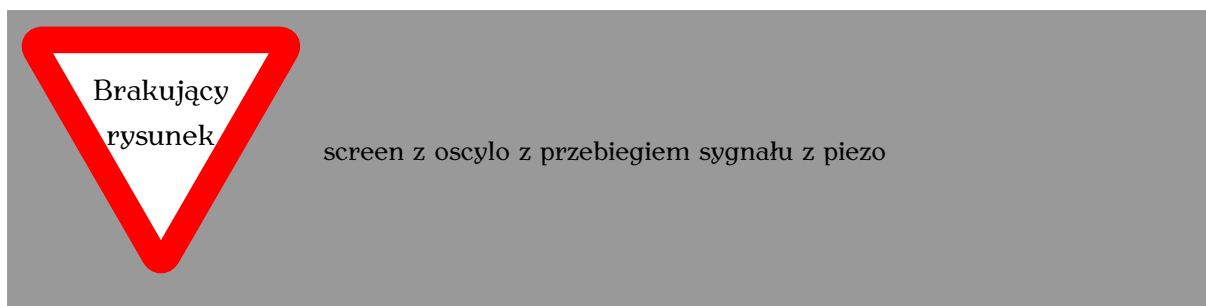
Z identycznym stanowiskiem pomiarowym co sekcję wyżej sprawdzono wpływ odległości czujników na moc i przesunięcie fazy sygnału.

8.3 Pierwsze uruchomienie

Pierwsze uruchomienie elektroniki ujawniło drobny błąd projektowy, wszystkie LEDY sygnalizacyjne zostały przylutowane w złej polaryzacji. Szybka zmiana ustawień diod i następne uruchomienie, nie pokazywało oznak większych błędów. Pobór prądu, jak i temperatura elementów na płycie była w normie.

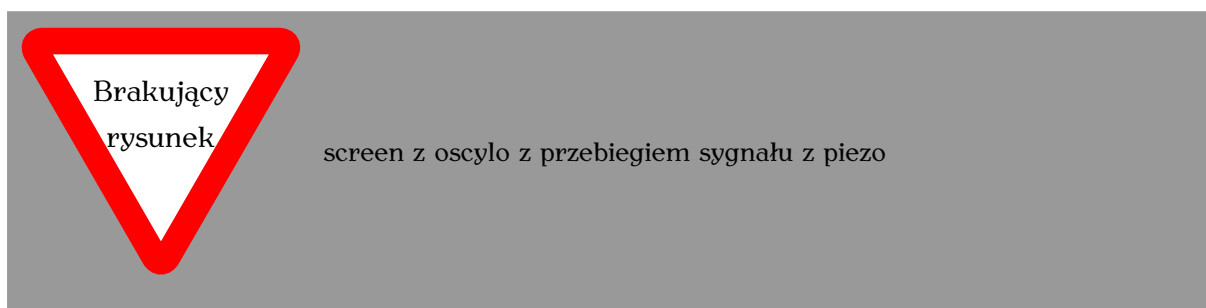
zdjęcie z oscylo z przesunię-
tym sygna-
łem i kilka
testów na
różne odle-
głości

podać ile
prądu cią-
gnie



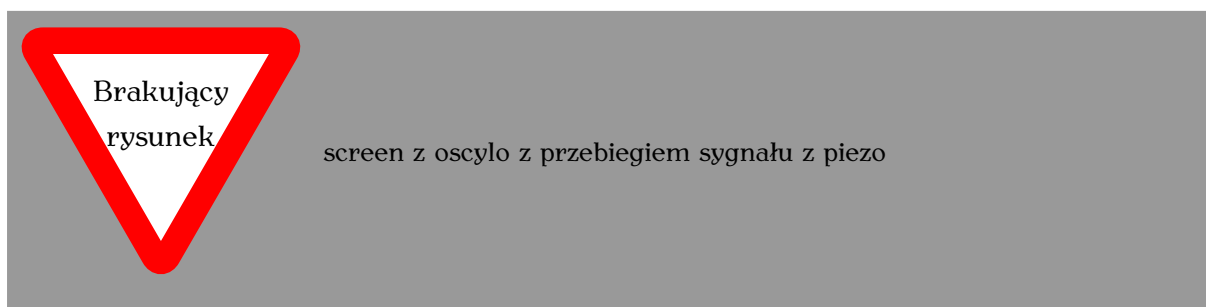
Rysunek 8.2 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym, wpływ na odległość

8.4 Uruchomienie i test wzmacniacza sygnału przetwornika piezoelektrycznego



Rysunek 8.3 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym

8.5 Test mikrofonów i filtrów



Rysunek 8.4 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym

Rozdział 9

Podsumowanie i wnioski

Ten rozdział pisze się jako przedostatni. Ostatnim jest "Wstęp"

Literatura

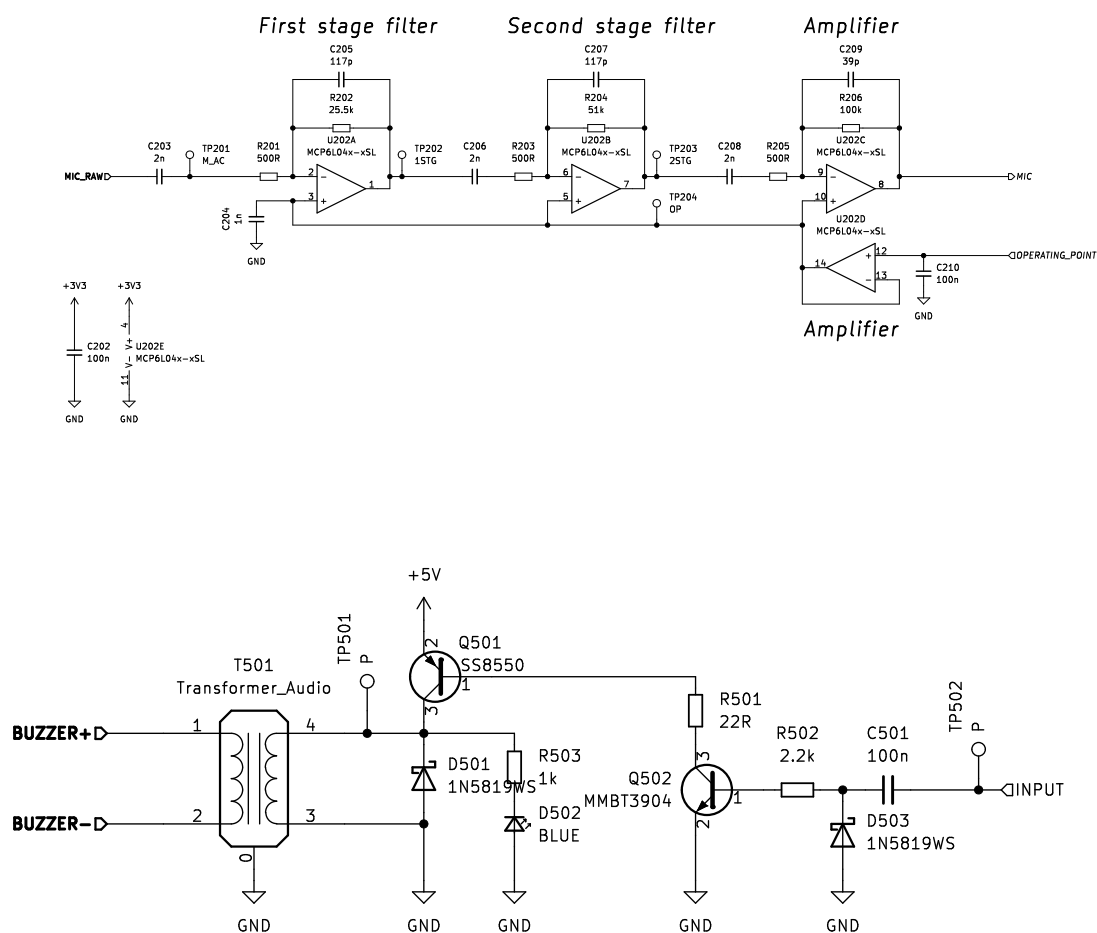
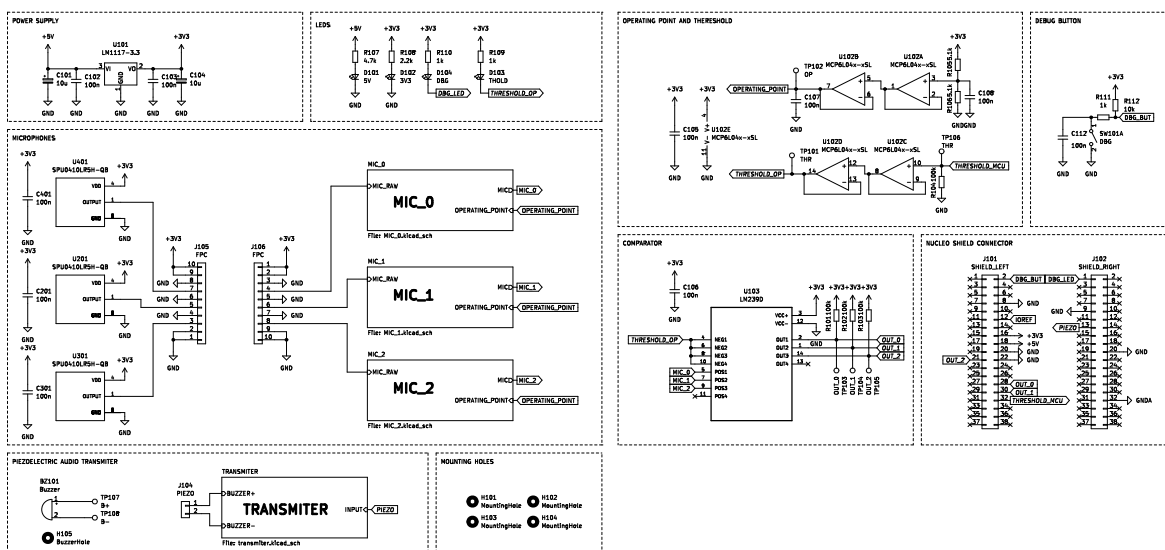
[KiC] kicad. <https://www.kicad.org/>.

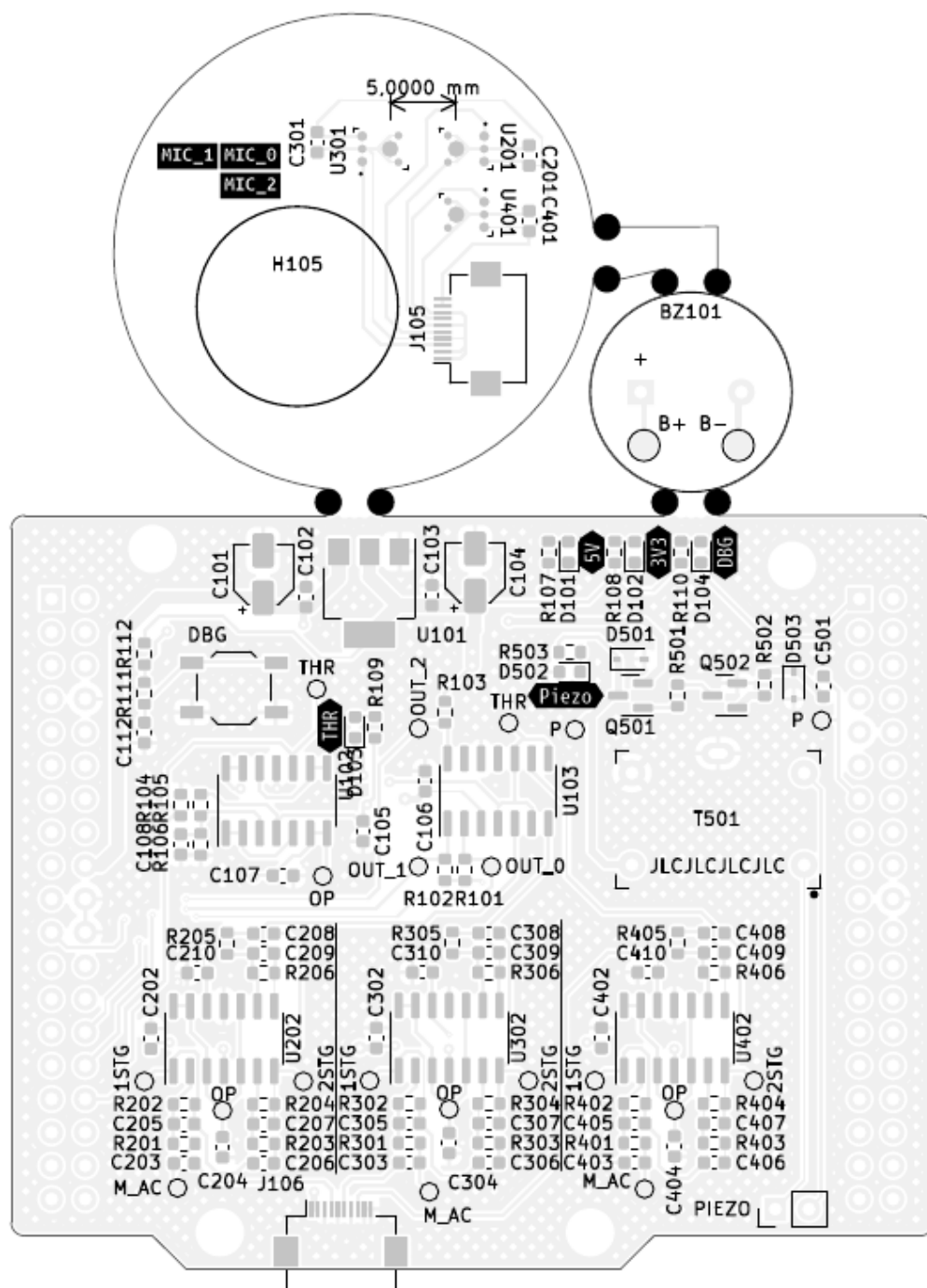
Spis rysunków

4.1	Schemat blokowy urządzenia	8
4.2	Schemat blokowy urządzenia	8
6.1	Ramka danych przychodzących	10
6.2	Ramka danych wychodzących	11
6.3	Stabilizator napięcia	11
6.4	Nadajnik piezoelektryczny	12
6.5	Wzmacniacz sygnału nadajnika piezoelektrycznego	12
6.6	Zestaw filtrów dla sygnału z mikrofonów	13
6.7	Wzmacniacz prądowy napięcia odniesienia	13
8.1	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym	16
8.2	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym, wpływ na odległość	17
8.3	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym	17
8.4	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym	17

Dodatek A

Schematy i noty katalogowe





Do zrobienia

przereagować w konsultacji z promotorem	5
przetworniki	6
gotowe dalmierze	6
zrobić ładniejszą ramkę	10
zrobić ładniejszą ramkę	10
pokazać jak wygląda shield	11
wstawić diagram funkcjonalny	11
opisać obszernie wybór wzmacniaczy operacyjnych	13
Rysunek: screen z symulacji	14
Rysunek: progowanie sygnału	14
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	16
zdjęcie z oscylo z przesuniętym sygnałem i kilka testów na różne odległości	16
podać ile prądu ciągnie	16
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	17
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	17
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	17